

Королёв В.С., Поляхова Е.Н., Старинова О.Л.

РАЗВИТИЕ ТЕОРИИ СВЕТОВОГО ДАВЛЕНИЯ В XVII-XIX СТОЛЕТИЯХ

Проблема разгадки природы световых лучей издавна, ещё с древности, занимала умы учёных. Это привело к созданию многочисленных теорий света, часто вступающих в противоречие друг с другом. Две базовых теории – волновая (Декарт, Гюйгенс, Эйлер) и корпускулярная (Ньютон, Ломоносов) – чётко сформировались на рубеже XVII-XVIII столетий. Они долго существовали порознь, стимулировали развитие физики света и новые открытия как в теории света, так и в практической (инструментальной) оптике. Только в XIX веке электромагнитная теория света Максвелла, а затем квантовая физика примирили две эти теории, доказав двойственную природу света.

Догадки о существовании светового давления появлялись уже несколько столетий назад. Соответственно и дискуссия о существовании светового давления и его возможной роли как динамического космического фактора имеет почти четырёхсотлетнюю давность. Еще в 1619 г. Иоганн Кеплер в своих трактатах «De Cometis» и «Cometarium Physiologia», вошедших в его знаменитую книгу «Opera omnia» [1] ясно высказал гипотезу о том, что необычная форма кометных хвостов и их отклонение от радиального направления обязаны своим происхождением механическому отталкиванию светового потока. Убеждённо заявляя, что «...хвосты комет образуются Солнцем из материи, из головы изгнанной», Кеплер тем самым утверждает, что свет производит давление на встречные тела, смещая их в сторону распространения лучей.

Гипотеза Кеплера о давлении света, базировавшаяся на единственно известной тогда теории излучения света (эмиссионной теории), получила дальнейшее теоретическое развитие и обоснование в тех представлениях о природе света, которые долгое время спустя – вплоть до начала XIX столетия – считались основами физики. В XVII-XIX столетиях целая плеяда физиков и астрономов, а среди них такие знаменитые учёные, как Христиан Гюйгенс (1629-1695 гг.) в первом томе своего трёхтомного трактата «Диоптрика» (1652 г.), Роберт Кук (1635-1703 гг.), Исаак Ньютон (1643-1727 гг.) в «Лекциях по оптике» (1699 г.) и своей знаменитой «Оптике» (1704 г.), Пьер Бургер (1698-1758 гг.), Иоганн Ламберт (1728-1777 гг.), Леонард Эйлер (1707-1783 гг.), Томас Юнг (1773-1829 гг.), Агюстен Френель (1788-1827 гг.), Фридрих Бессель (1784-1846 гг.), Вильям Крукс (1844-1906 гг.), неоднократно исследовали возможную роль светового

отталкивания и пытались его измерить опытным путём. При этом они выполнили многочисленные теоретические и экспериментальные работы в этой области, роль которых для физики сама по себе огромна, причём в ряде случаев их неудачные опыты по давлению света неожиданно приводили к открытиям совсем других оптических явлений. Действительно, в XVIII столетии начались и затем более 150 лет не прекращались безуспешные попытки осуществить эксперимент по обнаружению этого давления. Но эффект упорно «в руки не давался»: Гомберг в 1708 г. пытается выбить частички из асбестовой пластинки с помощью сфокусированного луча, Де Мейран и практически одновременно с ним Дю Фэ в 1754 г. фокусирует свет на лёгкие крылышки, А. Френель в 1825 г. модифицирует опыт Де Мейрана, фокусируя свет на лёгкие крылышки, закреплённые на остриях магнитной стрелки. Как и все его предшественники, А. Френель, например, смог в своем опыте констатировать лишь механические движения крылышек, вызванные конвекцией неравномерно нагретого воздуха в сосуде.

В начале XIX столетия был сделан ряд важных оптических открытий, потребовавших существенного пересмотра представлений о природе света. После неудавшихся опытов Френеля вопрос о световом давлении постепенно заглох. Только лишь через 50 лет он снова привлек к себе внимание физиков, когда В. Крукс в 1870 г. опубликовал ряд необычных результатов своих экспериментов. В его опытах по световому давлению неожиданно проявился и был успешно описан открытый им самим так называемый радиометрический эффект. Он вызывается неодинаковым нагревом двух сторон освещаемых крылышек-пластинок, освещённой и теневой, вследствие чего сталкивающиеся с ними в сосуде молекулы газа получают при отражении от соответствующей пластинки разные скорости, причём эти скорости соударения направлены произвольно. В результате соударения пластинка приобретает некий реактивный импульс, направление которого, в отличие от светового давления, совершенно не зависит от направления светового луча. Кроме этого радиометрического эффекта, открытого Круксом именно в результате попыток измерить световое давление, в его опытах были сильны и конвекционные помехи за счёт переноса молекул газа вследствие неодинаковости нагрева пластинки и сосуда. Оба этих эффекта, и радиометрический и конвекционный, не позволили Круксу в 1870 г. выделить эффект светового давления.

Таким образом, все попытки учёных обнаружить световое давление экспериментально, предпринятые ими на протяжении XVIII-XIX столетий, оказались безуспешными. Однако проведённые исследования позволили выявить и осмыслить основные технические трудности эксперимента и сформулировать предъявляемые к нему

требования. Всё это впоследствии безусловно способствовало поискам путей к успеху. Неудачи в постановке указанных опытов были в значительной мере определены ещё и тем, что ни порядок ожидаемой величины светового давления, ни порядок величин, возникающих при этом помех, не были заранее известны хотя бы приближённо. Ведь теории светового давления как таковой тогда ещё не существовало. Лишь теоретические исследования, появившиеся к середине XIX столетия, позволили сделать первые количественные прогнозы эффекта.

Л. Эйлер, будучи убеждённым противником ньютоновской эмиссионной теории света, приписывал световому лучу свойство давления. Уверенно опираясь при этом на волновую теорию света Х. Гюйгенса и считая свет волнами в эфире, он рассматривал в своей работе в 1748 г. движение в световом луче как сходные со звуковыми продольные колебания. Среди упомянутых выше данных необходимо отметить две знаковые отечественные фигуры, которые не только ставили опыты по физике света, но и внесли существенный вклад в последовательное изложение световой теории.

Прежде всего это Михаил Васильевич Ломоносов (1711-1765 гг.), который учился физике в Германии, в Мирбурге, у знаменитого европейского физика и философа Христиана Вольфа. Приехав в Петербург, Ломоносов приступил к чтению лекций по физике в Петербургском Академическом университете и специально для университета создал курс физики на русском языке. Он базировался на своих записях лекций Вольфа, перерабатывая их с позиций своих физических воззрений, и дополнил текст описанием динамических экспериментов, проводившихся в Физическом Кабинете Петербургской Академии Наук (в Кунсткамере). Директором Физического Кабинета был знаменитый русский физик Рихман. В апреле Ломоносов опубликовал первый в России учебник физики под названием «Вольфганская физика», который послужил пособием по преподаванию физики в России в дальнейшие сто лет.

Вторая знаковая фигура в преподавании физики в России и в Европе был великий математик и механик Леонард Эйлер (1707-1783 гг.). Работая в Берлине с 1741 по 1766 гг., он написал научно-популярную книгу по естествознанию, философии науки и физике, изложив в частности в ней свою концепцию теории света. Книга называлась «Письма к одной немецкой принцессе», так как была создана на основе уроков физики, которые Эйлер давал своим аристократическим ученицам. Вернувшись в Петербург в 1766 г., Эйлер издал книгу сначала во французском, а потом и в русском переводе (1768-1772 гг., в трёх томах) и она стала всемирно известным энциклопедическим пособием по физике ещё на целые столетия вперёд.

Изложенная в ней волновая теория света предполагает существование эфира как сопротивляющейся среды для распространения света. Эйлер не признавал корпускулярной теории света Ньютона. Эйлера волновая теория основывалась не на распространении колебаний, а на колебании прямолинейного луча в эфире, что было потом отвергнуто Максвеллом. Однако Эйлеру «теорию света – эфира» можно считать предтечей общей теории относительности, в которой вместо Эйлера эфира мы имеем дело с концепцией «пространство-время-тяготение» как организующей среды мирового пространства.

Решающий вклад в теорию светового давления внесли уже только в XIX столетии работы Дж. К. Максвелла и А. Бартоли. Действительно, лишь в 1873 г. знаменитому английскому физику Джеймсу Клерку Максвеллу (1831-1879 гг.) – создателю электромагнитной теории света и автору всемирно известного кембриджского учебника «A Treatise on Electricity and Magnetism» – удалось, теоретически, причём, как позднее выяснилось, совершенно правильно и точно предсказать малую величину давления светового луча и тем самым серьёзно аргументировать реальность этого явления, надёжно обосновав его динамическую сущность. Именно Максвелл доказал, что видимый свет, являясь одной из форм электромагнитной радиации, а именно – поперечной, а не продольной, как полагали его предшественники, волной, оказывает давление при поглощении или отражении его телом, причём скорость распространения этой радиации постоянна. Как уже упоминалось, к началу XIX столетия теория оптических явлений была уже основательно разработана, однако это была прежде всего механическая теория. Соответственно, тот общепризнанный факт, что световые волны оказались волнами поперечными, поставили её перед большими трудностями. Теория Максвелла, сведя свет как явление к электромагнитным волнам, вывела её тем самым из этого тупика, хотя первоначально сам Максвелл получил свои уравнения именно из механических концепций и представлений. Это был замечательный синтез физики второй половины XIX столетия. Опираясь на механику Максвелл пришел к тому, что несравненно глубже, чем законы механики, вскрывало взаимосвязь явлений природы – к законам электромагнетизма.

«Трактат об электричестве и магнетизме», созданию которого Максвелл посвятил восемь лет, был разделён на два тома (манускрипта): в первом излагались электростатика и электрический ток, во втором – магнетизм и электромагнетизм. Во втором томе, в разделе под названием «Электромагнитная теория света» было приведено то знаменитое количественное соотношение, существующее, согласно теории Максвелла, между

яркостью (энергией) луча и производимом им давлением [2]. Здесь Максвелл впервые вычислил величину давления луча солнечного света на встречную абсолютно чёрную площадку на орбите Земли: $0,422 \cdot 10^{-4}$ дин/см². Он обосновывает формулу для вычисления этого давления по значению яркости, доказывая, что концепция существования давления является следствием волновой теории света.

Таково было в общих чертах состояние теоретической и экспериментальной науки о световом давлении к концу XIX столетия. Триумфальное завершение этой проблемы принадлежит русскому физическому Петру Николаевичу Лебедеву (1866-1912 гг.), впервые в 1899 г. блестящим экспериментом подтвердившему существование давления лучистого потока и успешно измерившему его малую величину опытным путём. Лебедев подробно описал свой опыт в 1901 г. в статье «Опытное исследование светового давления» [3].

Главная трудность опыта состояла в обеспечении высокого вакуума для устранения конвекционных потоков газа и в устранении до минимума радиометрических сил, всегда создававших, как уже упоминалось выше, основные помехи в этих опытах. Успешно преодолев эти технические трудности и сведя помехи к уровню ошибок опыта, Лебедев выполнил измерение светового давления, проверил экспериментально формулы Максвелла для светового давления (для поглощения и отражения светового луча) и положил начала последующим исследованиям по использованию светового давления для космоплавания.

Библиографический список

1. Kepler J. Opera Omnia. Augustae vindecorum, 1619; Francoforti a/M, 1867/1868, Manuscr.7.
2. Maxwell J.K. A Treatise on Electricity and Magnetism. Manuscript 2. Oxford, 1873.
3. Лебедев П.Н. Собр. соч. М., 1913. С. 121-147.